

Каталитический энантиоселективный синтез α -гидроксиаминоарилфосфонатов

Шергольд И.А.,* Гулюкина Н.С., Белецкая И.П.

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Ленинские горы, ГСП-1, д.1, с.3, 119992, Москва. Факс: 495 932 8846; тел: 495 939 4828; E-mail: ilyashergold@yandex.ru

Гидроксиаминофосфоновые кислоты и их производные относятся к числу биологически активных органических соединений. В настоящее время известно всего шесть способов получения α -гидроксиаминофосфонатов, причем только один из них позволяет получить оптически активные продукты. Нами впервые найдена каталитическая система, позволяющая получать оптически активные α -гидроксиаминоарилфосфонаты с выходами, близкими к количественным, из доступных оксимов α -оксофосфонатов.

Введение

Гидроксиаминофосфоновые кислоты и их производные являются биологически активными органическими соединениями, обладают гербицидными¹ и антисептическими свойствами²⁻³, проявляют бактерицидное и противомаларийное действие⁴. Также α -гидроксиаминофосфонаты могут быть использованы для получения α -аминофосфоновых кислот⁵ (аналогов природных аминокислот) и фосфорилированных нитронов, применяемых в качестве спин-ловушек⁶ или в реакциях циклоприсоединения⁷.

На данный момент известно всего шесть способов синтеза α -гидроксиаминофосфонатов^{1,5,8-11}, среди которых только один дает возможность получить оптически активные продукты⁵. Существенным недостатком этого метода является необходимость использования стехиометрического количества вспомогательного источника хиральности – природного углевода.

Нами впервые предложено получать оптически активные α -гидроксиаминоарилфосфонаты путем каталитического гидрирования оксимов α -оксоарилфосфонатов.

Результаты и обсуждение

Исходные α -гидроксииминофосфонаты, содержащие в α -положении арильный (Ph, p -F-C₆H₄, p -Me-C₆H₄) заместитель, были синтезированы по литературной методике фосфорилированием хлорангидридов соответствующих карбоновых кислот триэтилфосфитом с последующей конденсацией образующегося α -оксофосфоната с гидроксиламином (схема 1). Эта схема является одним из наиболее удобных и распространенных способов получения α -гидроксииминофосфонатов¹².

Полученные таким способом оксимы **3а-в** представляют собой смесь (*E*)- и (*Z*)-изомеров. Индивидуальные, термодинамически более стабильные (*E*)-изомеры были получены обработкой смеси изомеров раствором хлороводорода в этаноле¹³.

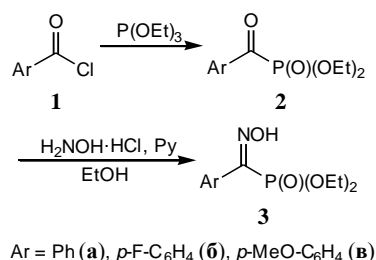
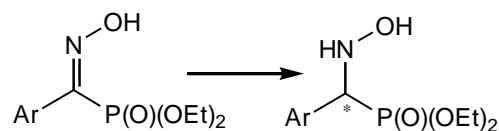


Схема 1. Синтез α -гидроксииминоарилфосфонатов

В поисках оптимальной каталитической системы на модельном субстрате **3а** были исследованы различные предкатализаторы, хиральные лиганды, различные растворители, каталитические добавки кислоты, температурный режим реакции, давление водорода, проведено сравнение реакционной способности смеси (*E*)/(*Z*)-изомеров, образующейся при синтезе, и индивидуального (*E*)-изомера.

Массив собранных данных позволил определить оптимальные условия проведения реакции: гидрирование (*E*)-изомера модельного оксима **3а** водородом (50 атм) в присутствии каталитической системы Pd(OAc)₂ / (*R*)-BINAP и (1*S*)-(+)-10-камфарасульфокислоты (CSA) при 60 °C приводит целевому продукту **4а** с выходом 92% и оптической чистотой 85% за 1 ч. Являясь кислотой Бренстеда, CSA протонирует оксим и активирует его, что значительно ускоряет процесс гидрирования (присоединения гидрид-аниона). Конечный результат представлен на схеме 2 и в табл. 1.



Реагенты и условия: Pd(OAc)₂/(*R*)-BINAP (5мол%), CSA (10мол%), TFE, H₂ (50атм), 60 °C, 1ч

Схема 2. Каталитический энантиоселективный синтез α -гидроксиаминоарилфосфонатов

Табл. 1. Каталитический энантиоселективный синтез α -гидроксиаминоарилфосфонатов

Субстрат	Конверсия, %	ee, %
3a	94	85
3b	90	84
3в	62	77

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H , ^{13}C , $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ регистрировали на спектрометре «Bruker Avance-400» с рабочей частотой 400, 101, 162 МГц соответственно. Химические сдвиги в спектрах ЯМР ^1H приведены относительно ТМС в качестве внутреннего стандарта, в спектрах ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ – относительно 85%-ной H_3PO_4 в качестве внешнего стандарта, а в спектрах ЯМР ^{13}C – относительно сигнала растворителя (CDCl_3 – 77.0 м.д.).

ИК-спектры записаны на спектрофотометре Carl Zeiss UR-20.

Препаративную колоночную хроматографию проводили, используя силикагель LL₂₅₄ 5/40 μ (Chemapol). Контроль чистоты получаемых соединений осуществляли с помощью ТСХ на пластинках Alugram Sil G/UV₂₅₄ (Macherey-Nagel).

Энантиомерный избыток определяли методом ВЭЖХ на хроматографе «Bischoff» с ультрафиолетовым детектором (219 нм), используя колонку длиной 15 см и диаметром 0.46 см, хиральный носитель Kromasil AmyCoat, элюент гексан / изопропанол 9:1, скорость потока 1.0 мл/мин.

Температуру плавления измеряли с помощью индикатора точки плавления марки Electrothermal 9100 в запаянном капилляре.

***O,O'*-Диэтилбензоилфосфонат 2a** был получен по методике¹². К 6.0 мл (0.052 моль) хлорангидрида бензойной кислоты **1a** при перемешивании в атмосфере аргона по каплям прибавили 10.0 мл (0.058 моль) триэтилфосфита. После того, как весь триэтилфосфит был добавлен, реакционную смесь нагрели до 90 °C и перемешивали в течение 5 часов. Образовавшийся *O,O'*-диэтилбензоилфосфонат **2a** перегнали в вакууме в токе аргона. Выход 82%. $T_{\text{кип}} = 140\text{ }^\circ\text{C} / 2\text{ мм рт.ст.}$

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.39 (т, $^3J_{\text{HH}}$ 7.1 Гц, 6H, CH_3), 4.29 (м, 4H, CH_2), 7.53 (дд, $^3J_{\text{HH}}$ 7.5 Гц, 2H, CH аром.), 7.64 (тт, $^3J_{\text{HH}}$ 7.4 Гц, $^4J_{\text{HH}}$ 1.1 Гц, 1H, CH аром.), 8.28 (дд, $^3J_{\text{HH}}$ 7.7 Гц, $^4J_{\text{HH}}$ 1.1 Гц, 2H, CH аром.). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д.: 16.17 (д, $^3J_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, CH_3), 63.77 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 7.6 Гц, CH_2), 128.66 (2CH аром.), 129.62 (2CH аром.), 134.56 (CH аром.), 135.41 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 63.2 Гц, C аром.), 198.86 (д, $^1J_{\text{CP}}$ 174.5 Гц, C=O). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: -0.7.

***O,O'*-Диэтил-*n*-фторбензоилфосфонат 2b** был получен по аналогичной методике из 5.850 г (0.037 моль) хлорангидрида *n*-фторбензойной кислоты **1b** и 6.3 мл (0.037 моль) триэтилфосфита. Выход 87%. $T_{\text{кип}} = 152\text{ }^\circ\text{C} / 1\text{ мм рт.ст.}$

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.40 (т, $^3J_{\text{HH}}$ 7.1 Гц, 6H, CH_3), 4.29 (м, 4H, CH_2), 7.19 (дд, $^3J_{\text{HH}}$ 8.6 Гц, $^3J_{\text{HF}}$ 8.5 Гц, 2H, CH аром.), 8.35 (дд, $^3J_{\text{HH}}$

8.5 Гц, $^4J_{\text{HF}}$ 5.7 Гц, 2H, CH аром.). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д.: 16.26 (д, $^3J_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, CH_3), 64.05 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 7.1 Гц, CH_2), 116.10 (д, $^2J_{\text{CF}}$ 21.9 Гц, 2CH аром.), 132.04 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 64.9 Гц, C аром.), 132.71 (д, $^3J_{\text{CF}}$ 10.1 Гц, 2CH аром.), 166.62 (д, $^1J_{\text{CF}}$ 258.0 Гц, CF аром.), 197.18 (д, $^1J_{\text{CP}}$ 177.0 Гц, C=O). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: -1.0 м.д.

***O,O'*-Диэтил-*n*-метоксибензоилфосфонат 2в** был получен по аналогичной методике из 10.435 г (0.061 моль) хлорангидрида *n*-метоксибензойной кислоты **1в** и 11.5 мл (0.067 моль) триэтилфосфита. Выход 85%. $T_{\text{кип}} = 165\text{ }^\circ\text{C} / 1\text{ мм рт.ст.}$

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.38 (т, $^3J_{\text{HH}}$ 7.1 Гц, 6H, CH_3), 3.89 (с, 3H, CH_3O), 4.27 (м, 4H, CH_2), 6.98 (дд, $^3J_{\text{HH}}$ 8.8 Гц, $^4J_{\text{HH}}$ 1.0 Гц, 2H, CH аром.), 8.29 (дд, $^3J_{\text{HH}}$ 8.9 Гц, $^4J_{\text{HH}}$ 1.0 Гц, 2H, CH аром.). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д.: 16.31 (д, $^3J_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, CH_3), 55.56 (CH_3O), 63.76 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 7.6 Гц, CH_2), 114.10 (2CH аром.), 129.02 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 64.9 Гц, C аром.), 132.48 (2CH аром.), 164.88 (COMe аром.), 196.58 (д, $^1J_{\text{CP}}$ 174.5 Гц, C=O). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: -0.5 м.д.

***O,O'*-Диэтил-(*E*)- α -гидроксиминнобензилфосфонат 3a** был получен по методике¹³. В токе аргона к раствору 2.495 г (0.036 моль) гидрохлорида гидроксиламина и 3.2 мл (0.040 моль) пиридина в 30 мл абсолютного этанола при перемешивании по каплям прибавили раствор 6.540 г (0.027 моль) *O,O'*-диэтилбензоилфосфоната **2a** в 20 мл абсолютного этанола. После добавления всего *O,O'*-диэтилбензоилфосфоната **2a**, реакционную смесь оставили при перемешивании на 75 часов в атмосфере аргона. По окончании реакции спирт отогнали. Получившуюся смесь растворили в 45 мл хлористого метилена, а затем последовательно промыли двумя порциями воды по 15 мл, двумя порциями одномолярного раствора HCl по 15 мл и 15 мл насыщенного раствора NaCl. Раствор высушили над безводным MgSO_4 , хлористый метилен отогнали, остаток растворили в 22 мл трехмолярного раствора HCl в этаноле и перемешивали в течение 24 часов. Летучие компоненты удалили на ротонном испарителе, а остаток высушили в вакууме (2 мм рт.ст.). Полученное вещество кристаллизовали из бензола, и прозрачные аморфные кристаллы высушили в вакууме ($3 \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст.). Выход 66%.

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.27 (т, $^3J_{\text{HH}}$ 7.0 Гц, 6H, CH_3), 4.16 (м, 4H, CH_2), 7.40 (м, 3H, CH аром.), 7.61 (дд, $^3J_{\text{HH}}$ 7.1 Гц, $^4J_{\text{HH}}$ 1.4 Гц, 2H, CH аром.), 10.41 (уш. с, 1H, OH). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д.: 16.15 (д, $^3J_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, CH_3), 63.36 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, CH_2), 128.15 (2CH аром.), 128.45 (д, $^2J_{\text{CP}}$ 18.1 Гц, CH аром.), 128.75 (д, $^3J_{\text{CP}}$ 4.2 Гц, 2CH аром.), 129.48 (CH аром.), 151.38 (д, $^1J_{\text{CP}}$ 216.7 Гц, C=NOH). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: 9.74.

***O,O'*-Диэтил-(*E*)- α -гидроксиминно-*n*-фторбензилфосфонат 3b** был получен по аналогичной методике из 1.043 г (0.015 моль) гидрохлорида гидроксиламина, 1.4 мл (0.017 моль) пиридина и 3.000 г (0.012 моль) *O,O'*-диэтил-*n*-фторбензоилфосфоната **2b** в 18 мл абсолютного этанола и 10 мл трехмолярного раствора HCl в этаноле. Выход 62%.

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.28 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.0 Гц, 6H, CH_3), 4.17 (м, 4H, CH_2), 7.10 (дд, $^3\text{J}_{\text{HF}}$ 9.4 Гц, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 8.0 Гц, 2H, CH аром.), 7.66 (дд, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 8.0 Гц, $^4\text{J}_{\text{HF}}$ 5.4 Гц, 2H, CH аром.), 10.47 (уш. с, 1H, OH). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д.: 16.16 (д, $^3\text{J}_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, CH_3), 63.44 (д, $^2\text{J}_{\text{CP}}$ 6.7 Гц, CH_2), 115.29 (д, $^2\text{J}_{\text{CF}}$ 21.9 Гц, 2CH аром.), 125.35 (д, $^2\text{J}_{\text{CP}}$ 18.6 Гц, C аром.), 131.15 (дд, $^3\text{J}_{\text{CP}}$ 4.7 Гц, $^3\text{J}_{\text{CF}}$ 8.4 Гц, 2CH аром.), 150.10 (д, $^1\text{J}_{\text{CP}}$ 218.4 Гц, C=NOH), 163.07 (д, $^1\text{J}_{\text{CF}}$ 249.5 Гц, CF аром.). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: 9.46.

***O,O'*-Диэтил-(*E*)- α -гидроксимино-*n*-метоксибензилфосфонат 3в** был получен по аналогичной методике из 2.430 г (0.035 моль) гидрохлорида гидроксилamina, 3.0 мл (0.037 моль) пиридина и 6.800 г (0.025 моль) *O,O'*-диэтил-*n*-метоксибензоилфосфоната **2в** в 45 мл абсолютного этанола и и 20 мл трехмолярного раствора HCl в этаноле. Выход 72%.

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.29 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.0 Гц, 6H, CH_3), 3.83 (с, 3H, CH_3O), 4.16 (м, 4H, CH_2), 6.93 (д, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 8.5 Гц, 2H, CH аром.), 7.70 (д, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 8.5 Гц, 2H, CH аром.), 10.31 (уш. с, 1H, OH). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д.: 16.15 (д, $^3\text{J}_{\text{CP}}$ 5.1 Гц, CH_3), 55.20 (CH_3O), 63.26 (д, $^2\text{J}_{\text{CP}}$ 6.7 Гц, CH_2), 113.51 (2CH аром.), 121.55 (д, $^2\text{J}_{\text{CP}}$ 18.6 Гц, C аром.), 130.75 (2C аром.), 150.37 (д, $^1\text{J}_{\text{CP}}$ 215.8 Гц, C=NOH), 160.28 (C=O аром.). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: 10.07.

***O,O'*-диэтил- α -гидроксиминобензилфосфонат 4а.** Прокаленную колбу охладили в токе аргона и поместили в нее 4.5 мг (0.007 ммоль) (R)-(-)-BINAP, 1.6 мг (0.007 ммоль) ацетата палладия(II) и 4 мл трифторэтанола. Смесь при перемешивании в атмосфере Ar нагрели до 65 °С для растворения (R)-(-)-BINAP. К раствору добавили 37.0 мг (0.144 ммоль) *O,O'*-диэтил-(*E*)- α -гидроксиминобензилфосфоната (**E**)-**3а** и 3.2 мг (0.014 ммоль) (1S)-(+)-10-камфарасульфокислоты. Полученную смесь перемешивали до полной гомогенизации раствора, а затем поместили в автоклав, заранее охлажденный в атмосфере аргона. Автоклав привели в рабочее положение, наложили давление водорода 50 атм и перемешивали реакционную смесь при 60 °С в течение 1 часа. По окончании реакции растворитель упарили, остаток растворили в CDCl_3 и анализировали методом ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$. Спектральный выход *O,O'*-диэтил- α -гидроксиминобензилфосфоната **4а** составил 92%. Продукт **4а** выделяли хроматографически на силикагеле, используя в качестве элюента смесь хлористый метилен / метанол 40:1 и собирая фракции с $R_f = 0.3$. Энантиомерный избыток, определенный методом ВЭЖХ, составил 85%. Времена удерживания энантиомеров **4а** 11.3 и 15.3 мин (соотношение 12.6:1). Перекристаллизован из бензола, $T_{\text{пл}} = 117.6\text{--}119.0$ °С ($T_{\text{пл}} = 134\text{--}136$ °С, хлороформ / петролейный эфир [24]).

ИК-спектр (вазелиновое масло, ν , cm^{-1}): 3240 (O-H), 1250 (P=O), 1060, 1040 (C-O), 980 (C=C).

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.18 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.0 Гц, 3H, CH_3), 1.28 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.0 Гц, 3H, CH_3), 3.91 (м, 1H, CH_2), 4.03 (м, 1H, CH_2), 4.05 (м, 2H, CH_2), 4.51 (д, $^2\text{J}_{\text{HP}}$ 18.4 Гц, CH), 5.11 (уш. с, 1H, NH), 5.79 (уш. с, 1H, OH), 7.35 (м, 3H, CH аром.), 7.47 (д, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.2 Гц,

2H, CH аром.). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д.: 16.22 (д, $^3\text{J}_{\text{CP}}$ 5.6 Гц, CH_3), 16.33 (д, $^3\text{J}_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, CH_3), 62.86 (д, $^2\text{J}_{\text{CP}}$ 6.8 Гц, CH_2), 63.08 (д, $^2\text{J}_{\text{CP}}$ 6.7 Гц, CH_2), 65.52 (д, $^1\text{J}_{\text{CP}}$ 146.4 Гц, CH-P), 128.25 (CH аром.), 128.54 (2CH аром.), 128.58 (2CH аром.), 134.18 (д, $^2\text{J}_{\text{CP}}$ 5.9 Гц, C аром.). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: 21.57.

***O,O'*-диэтил- α -гидроксимино-*n*-фторбензилфосфонат 4б** был получен по аналогичной методике из 4.5 мг (0.007 ммоль) (R)-(-)-BINAP, 1.6 мг (0.007 ммоль) ацетата палладия(II), 39.6 мг (0.144 ммоль) *O,O'*-диэтил-(*E*)- α -гидроксимино-*n*-фторбензилфосфоната (**E**)-**3б** и 3.2 мг (0.014 ммоль) (1S)-(+)-10-камфарасульфокислоты. Выход 89%, ee 84%.

ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.20 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.1 Гц, 3H, CH_3), 1.28 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.0 Гц, 3H, CH_3), 3.96 (м, 2H, CH_2), 4.07 (м, 2H, CH_2), 4.50 (д, $^2\text{J}_{\text{HP}}$ 18.3 Гц, CH), 7.07 (дд, $^3\text{J}_{\text{HF}}$ 9.4 Гц, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.7 Гц, 2H, CH аром.), 7.46 (дд, $^4\text{J}_{\text{HF}}$ 5.3 Гц, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.7 Гц, 2H, CH аром.). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: 20.89.

***O,O'*-диэтил- α -гидроксимино-*n*-метоксибензилфосфонат 4в** был получен по аналогичной методике из 4.5 мг (0.007 ммоль) (R)-(-)-BINAP, 1.6 мг (0.007 ммоль) ацетата палладия(II), 41.4 мг (0.144 ммоль) *O,O'*-диэтил-(*E*)- α -гидроксимино-*n*-метоксибензилфосфоната (**E**)-**3в** и 3.2 мг (0.014 ммоль) (1S)-(+)-10-камфарасульфокислоты. Выход 54%, ee 77%.

ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д.: 1.18 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.0 Гц, 3H, CH_3), 1.28 (т, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 7.1 Гц, 3H, CH_3), 3.81 (с, 3H, CH_3O), 3.90 (м, 1H, CH_2), 4.00 (м, 1H, CH_2), 4.07 (м, 2H, CH_2), 4.45 (д, $^2\text{J}_{\text{HP}}$ 17.7 Гц, CH), 6.90 (д, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 8.5 Гц, 2H, CH аром.), 7.39 (дд, $^3\text{J}_{\text{HH}}$ 8.5 Гц, $^4\text{J}_{\text{HP}}$ 1.3 Гц, 2H, CH аром.). Спектр ЯМР $^{31}\text{P}\{^1\text{H}\}$ (CDCl_3), δ , м.д.: 22.04.

Библиографический список

- Петров К.А., Трещалина Л.В., Чижов В.М. // *Журнал общей химии*. **1979**. Т. 49. С. 590.
- Hashimoto M., Hemmi K., Takeno H., Kamiya T. // *Tetrahedron Letters*. **1980**. V. 21. P. 99.
- Hemmi K., Takeno H., Hashimoto M., Kamiya T. // *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*. **1982**. V. 30. P. 111.
- Haemers T., Wiesner J., Busson R., Jomaa H., Van Calenbergh S. // *European Journal Of Organic Chemistry*. **2006**. P. 3856.
- Huber R., Vasella A. 133. // *Helvetica Chimica Acta*. **1987**. V. 70. P. 1461.
- Rouband V., Dozol H., Rizzi C., Lauricella R., Bouteiller J.-C., Tuccio B. // *Perkin Transactions 2*. **2002**. P. 958.
- Yuan Ch., Chen Sh. // *Phosphorus, Sulfur, and Silicon*. **1997**. V. 123. P. 111.
- Осипова М.П., Лукин П.М., Кухтин В.А. // *Журнал общей химии*. **1982**. Т. 52. С. 449.
- Осипова М.П., Волкова Р.В., Спиридонов Е.А. // *Журнал общей химии*. **1986**. Т. 56. С. 328.
- Heydari A., Mehrdad M., Tavakol H. // *Synthesis*. **2003**. P. 1962.
- Yuan Ch., Chen Sh., Zhou H., Maier L. // *Synthesis*. **1993**. P. 955.
- Berlin K.D., Claunch R.T., Gaudy E.T. // *Journal Of Organic Chemistry*. **1968**. V. 33. P. 3090.
- Breuer E., Karaman R., Goldblum A., Gibson D., Leader H., Potter B.V.L., Cummins J.H. // *Perkin Transactions 1*. **1988**. P. 3047.